LIMP

Programa para la Medición de la Impedancia de Altavoces

Manual de usuario

Versión 1.2.0.

Ivo Mateljan

Electroacoustics Laboratory
Faculty of electrical engineering
R. Boskovica bb.
21000 Split, Croatia

Traducción de:
Andrea Gutiérrez Pérez
andreag@agptraducciones.com

February, 2007.

Contenidos

1 ¿QUÉ ES *LIMP*? **3**

2 TEORÍA SOBRE MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA **4**

2.1 Circuito básico para medición de la impedancia 4
2.2 Generador de sinusoides escalonadas y de ruido periódico Rosa 4
2.3 Procedimiento simple de medición 5
2.4 Mediciones en un entorno ruidoso 6
2.4.1 Reduciendo el ruido de medición en el modo sinusoide escalonada 7
2.4.2 Reducción del ruido de medición en el modo FFT con excitación de ruido periódico 7

3. CONFIGURACIÓN DE HARDWARE **8**

4 TRABAJAR CON *LIMP* **9**

4.1 Menús de LIMP 12
4.2 Configuración de la tarjeta de sonido 14
4.3 Configuración del generador 15
4.4 Configuración de la medición 16
4.5 Procedimiento de medición 17
4.6 Configuración y exploración de gráficos 18
4.9 Mediciones calibradas 20
4.8 Manejo de archivos 21

5 PARÁMETROS DE LOS ALTAVOCES **23**

5.1 Definición de los parámetros físicos y dinámicos de los altavoces 23
5.2 Estimación de los parámetros Thiele-Small 25
5.3 Estimación de los parámetros físicos del altavoz 26
5.4 Estimación automática de los parámetros físicos y dinámicos de los altavoces 27

6 MEDICIÓN DE RLC **30**

6.1 Importancia de la calibración 31

BIBLIOGRAFÍA **32**

1 ¿Qué es *LIMP*?

LIMP es un programa diseñado para la medición de la impedancia de altavoces y la estimación de los parámetros físicos y dinámicos de los altavoces (también llamado parámetros Thiele-Small). Es también un programa de uso general para medir la impedancia entre 1 y 200 ohmios.

Los requisitos para usar el *LIMP* son:

- Sistemas operativos: Windows 98/Me/2000/XP
- Procesador Pentium, frecuencia del reloj 400 MHz o superior, memoria 128 MB
- Tarjeta de sonido dúplex completa

El *LIMP* se ha usado con resultados satisfactorios con las siguientes tarjetas de sonido:

- RME Fireface 800, RME HDSP
- M-audio Audiophile 2496, USB Transit, Delta 44,
- Terratec EWX 24/96
- Digigram VxPocket 440 – una tarjeta PCMCIA para portátil
- Echo Layla 24
- Tarjetas de sonido profesionales YAMAHA y DAL
- TASCAM US-122 - USB audio
- Ego-Sys U24 USB y Waveterminal,
- Soundblaster Live 24 y Extigy-USB (pero sólo a la frecuencia de muestreo de 48kHz),
- Tarjetas Turtle Beach Pinnacle y Fuji,

El *LIMP* se puede usar con un rendimiento ligeramente inferior con las siguientes tarjetas:

- Soundblaster MP3+ USB (nota: no instale un controlador SB, use el controlador por defecto de Windows XP),

- Tarjetas de sonido y audio incorporado con codecs AC97 (problema con ruido elevado en el modo FTT).

La instalación del programa se realiza a través del programa de configuración común para el software ARTA.

Todos los datos de registro de Windows para *LIMP* se guardarán automáticamente en el momento en que se ejecute el programa por primera vez, y se archivará la extensión ".LIM" para que se abra con el programa *LIMP*.

Los resultados de la medición se pueden guardar también como archivos formateados en ASCII con extensión .ZMA.

El *LIMP* no envía los gráficos a la impresora, pero se pueden copiar todos los gráficos en el Portapapeles de Windows y pegar en otras aplicaciones de Windows.

2 Teoría sobre medición de la impedancia

2.1 Circuito básico para medición de la impedancia

La medición de la impedancia de un altavoz se basa en el sistema que aparece en la Ilustración 2.1. La resistencia de referencia *R* se conecta entre el generador de señal y una impedancia de altavoz Z.

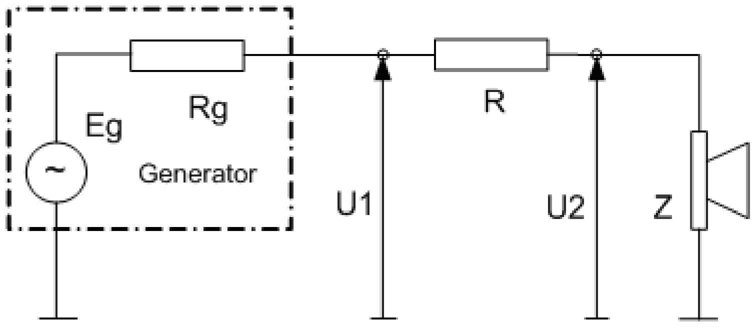


Ilustración 2.1 Circuito para medición de la impedancia de un altavoz

La impedancia se define en el dominio de la frecuencia - $Z(f)$. Si medimos los voltajes $U_1(f)$ y $U_2(f)$, a ambos extremos de la resistencia de referencia, se estima la impedancia del altavoz como:

$$Z(f) = \frac{U_2(f)}{U_2(f) - U_1(f)} R \quad (1)$$

2.2 Generador de sinusoides escalonadas y de ruido periódico Rosa

El *LIMP* tiene dos modos de medición de impedancia:

1) Modo de sinusoide escalonada
2) Modo FFT con excitación de ruido periódico rosa (Pink PN)

En la modalidad de modo sinusoide escalonada *LIMP* genera ráfagas de señales sinusoidales puras, frecuencia por frecuencia en incrementos de 1/24 o 1/48 octavas, y mide la respuesta a la señal sinusoidal filtrando el ruido y los componentes de distorsión de la respuesta sinusoidal.

La modalidad FFT es un método más rápido para medir la impedancia, pero con una relación Señal/Ruido (S/N) de medición mucho menor que el modo sinusoide escalonada. En este modo, el *LIMP* mide simultáneamente los valores de la impedancia en toda la gama de frecuencias audibles usando el generador de señal con una excitación de ruido rosa periódica en banda ancha (Pink PN). La excitación de ruido rosa en banda ancha se efectúa como señales multisinusoidales de fase aleatoria periódica. Es una señal periódica de cero dc que contiene *M* componentes sinusoidales, cada uno con una fase aleatoria:

$$g(t) = \sum_{k=1}^{M} A_k \cos(2\pi k f_0 t + \varphi_k), \quad \varphi_k = random \in [0, 2\pi] \quad (2)$$

Esta onda multisinusoidal tiene $A_k = \sqrt{2} A_{2k}$ y sus magnitudes espectrales se reducen 3dB/oct (después de cierta frecuencia de corte). En el *LIMP*, la frecuencia de corte de baja frecuencia variable se puede cambiar en el cuadro de diálogo '**Signal Generator Setup**' [**Configuración del generador de señales]** El ruido rosa se suele usar con una frecuencia de corte cercana a la frecuencia en la que el altavoz tiene el máximo de impedancia (20-100Hz). El ruido periódico rosa tiene la distribución estadística más cercana a la distribución normal, y en *LIMP* se genera con un factor de cresta inferior a 12dB.

2.3 Procedimiento simple de medición

En el **modo sinusoide escalonada**, el procedimiento simple de medición es el siguiente:

1. El *LIMP* genera una ráfaga de señal sinusoidal con una frecuencia *f*. Asumimos que esta señal acciona el generador que aparece en la Ilustración 2.1.
2. Después de un *periodo transitorio* arbitrario, que es necesario para alcanzar el estado estacionario, se miden los voltajes a ambos extremos de la resistencia de referencia, con la forma de series de tiempo discretas u_1 y u_2 de longitud *N*.
3. La magnitud y la fase de la señal u_1 y u_2 a la frecuencia *f* se calculan hallando los componentes sinusoidales fundamentales U_1 y U_2 a la frecuencia del generador f. Se hace resolviendo directamente la integral de Fourier en el *tiempo de integración* T. Estos armónicos fundamentales se usan en la ecuación (1) para calcular la impedancia *Z*.
4. Después de cierto periodo arbitrario, que llamamos *pausa entre ráfagas*, que será necesaria para que el sistema medido libere la energía reactiva, la frecuencia se incrementa en 1/24 octava (o 1/48 octava) y se repite el proceso desde el paso 1) hasta que se alcanza la frecuencia de parada predefinida.

En el **modo FFT**, el procedimiento simple de medición es el siguiente:

1. El *LIMP* genera el Ruido Rosa PN como secuencia periódica discreta con un periodo igual a ***N*.** Asumimos que esta secuencia acciona el generador que aparece en la Ilustración 2.1.
2. Después de un ciclo de compensación, que es necesario para alcanzar el estado estacionario, se miden los voltajes a ambos extremos de la resistencia de referencia, con la forma de series de tiempo discretas u_1 y u_2 de longitud *N*.
3. El DFT se aplica a las series de tiempos u_1 y u_2 para obtener los componentes espectrales U_1 (*f*) y U_2(*f*). Estos se usan en la ecuación (1) para calcular la impedancia *Z(f)*.

Nota importante:
La generación de señal en el modo sinusoide escalonada genera unos componentes sinusoidales con un nivel al menos 30dB superior a lo que es posible en el modo FFT. Esta es la razón por la que en el modo FFT los resultados de las mediciones pueden estar enormemente afectados por el ruido que se genera en el altavoz medido.

2.4 Mediciones en un entorno ruidoso

La principal fuente del ruido de medición es un altavoz que actúa como micrófono del ruido y las vibraciones medioambientales. La Ilustración 2.2 muestra el circuito modificado para la medición de la impedancia del altavoz, que incluye el generador de ruido E_n.

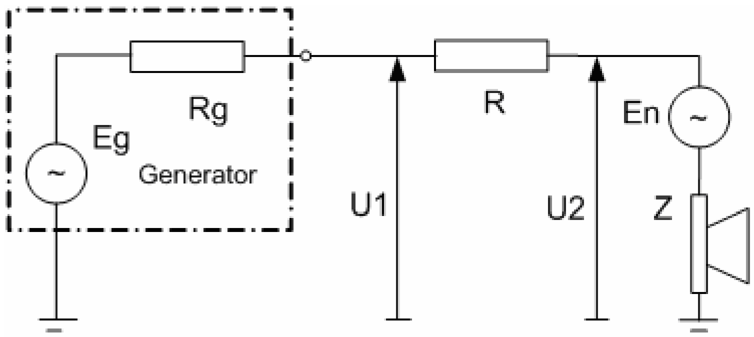


Ilustración 2.2 Circuito para la medición de la impedancia del altavoz, incluyendo el generador de ruido E_n.

Si aplicamos las ecuaciones de medición de la impedancia (1) a este circuito, obtenemos el valor estimado de la impedancia:

$$Z_{estimated} = R\frac{U_2}{U_1 - U_2} = Z + \frac{R + Z + R_g}{1 + E_g / E_n} \qquad (3)$$

Lo que evidencia esta ecuación es que la impedancia estimada difiere de la impedancia real Z porque es dependiente de la relación señal/ruido (E_g/E_n) y de los valores de las resistencias R, R_g y la impedancia Z. Concluimos entonces que:

1. El generador de señales ha de suministrar un voltaje elevado, para garantizar una relación señal/ruido alta. En la práctica, necesitamos un generador con al menos 1V de voltaje de salida pico. Esto se puede conseguir fácilmente con la excitación sinusoidal escalonada.
2. Cuando usamos el método FFT, los resultados de la medición se ven muy afectados por el ruido. El altavoz actúa como micrófono con una sensibilidad más alta en la región de la resonancia de la membrana. Esto implica que el nivel más alto de ruido se encuentra en las frecuencias bajas, así que hemos de generar la señal con el nivel más alto en las frecuencias bajas, es decir, el ruido rosa.
3. Los valores de las resistencias R y R_g han de ser bajos, encontrándose el valor óptimo cerca de la magnitud de la impedancia medida. En realidad, podremos usar R = 10-27 Ohmios para obtener una buena estimación de la impedancia, pero entonces necesitaremos un amplificador de potencia que suministre mucha corriente. Si usamos la salida de teléfono de la tarjeta de sonido como generador de señal, entonces podremos usar R= 47-100 Ohmios. Si usamos la salida de línea de la tarjeta de sonido como generador de la señal, debido a su capacidad de corriente limitada, hemos de usar R>600 Ohmios. En ese caso, no obtendremos una buena estimación con el método FFT, pero aún podremos usar el método de sinusoide escalonada.

2.4.1 Reduciendo el ruido de medición en el modo sinusoide escalonada

En el modo sinusoide escalonada *LIMP* usa el principio "heterodino" para filtrar todos los componentes espectrales que quedan fuera de la banda de paso que se centra en la frecuencia medida. El ancho de banda del filtro es igual a 1/T, siento T el *tiempo de integración* de la integral de Fourier. Por ejemplo, si usamos un tiempo de integración de 200 ms, el ancho de la banda de paso del filtro "heterodino" es de 5 Hz.

2.4.2 Reducción del ruido de medición en el modo FFT con excitación de ruido periódico

El ruido se puede reducir parcialmente usando la técnica de compensación en la estimación de U_1 y U_2. El *LIMP* compensa el espectro automático de U1 y el espectro cruzado de U_1 y U_2, dando la siguiente impedancia estimada:

$$Z_{esitimated} = \frac{R}{\dfrac{\langle U_1 U_1^* \rangle}{\langle U_2 U_1^* \rangle} - 1} \qquad (4)$$

Nota: los corchetes <> indican valores compensados y el asterisco señala un valor complejo conjugado.

Se pueden aplicar dos tipos de compensación en el *LIMP*. En una "compensación sincrónica en el dominio temporal" el LIMP genera múltiples periodos de una secuencia de ruido (Ilustración 2.3). En una "compensación asincrónica en el dominio de la frecuencia" el LIMP genera una secuencia de ruido diferente para cada bloque de FFT adquirido (Ilustración 2.4). La Compensación Asincrónica del Dominio de la Frecuencia nos puede dar unos resultados ligeramente mejores que la compensación sincrónica en los sistemas que tienen una distorsión no lineal, pero requiere un tiempo mayor para hacer las mediciones.

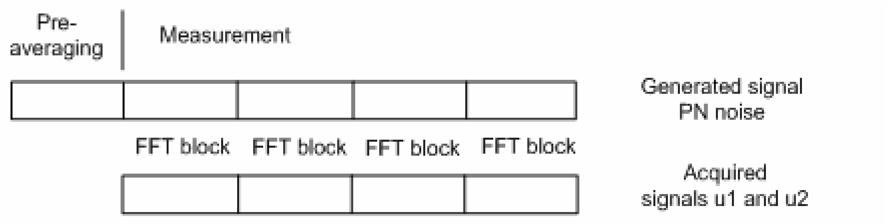


Ilustración 2.3 Generación y adquisición de señal durante el proceso de compensación sincrónica en el dominio temporal.

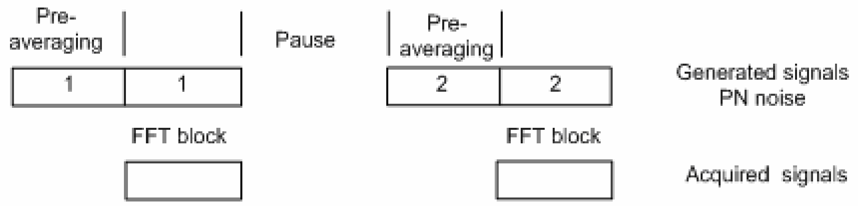


Ilustración 2.4 Generación y adquisición de señal durante la compensación asincrónica en el dominio de la frecuencia.

3. Configuración de hardware

La configuración de medición más simple es la que se muestra en la Ilustración 3.1. La salida de teléfono de la tarjeta de sonido (o la salida del altavoz) se usa como salida del generador de señales. La entrada de línea izquierda de la tarjeta de sonido se usa para registrar el voltaje U_1 y la entrada de línea derecha de la tarjeta de sonido se usa para registrar el voltaje U_2.

Nota: Si la tarjeta de sonido no tiene salida de teléfono o de altavoz, entonces habremos de usar la salida de línea y un amplificador de potencia exterior, como se muestra en la Ilustración 3.2.

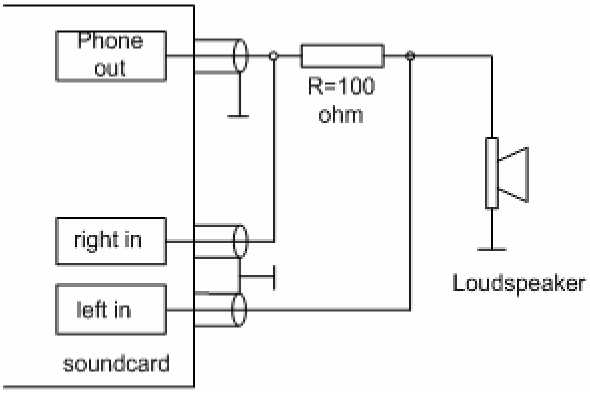


Ilustración 3.1 Configuración de medición para realizar mediciones de la impedancia del altavoz, usando la salida de teléfono.

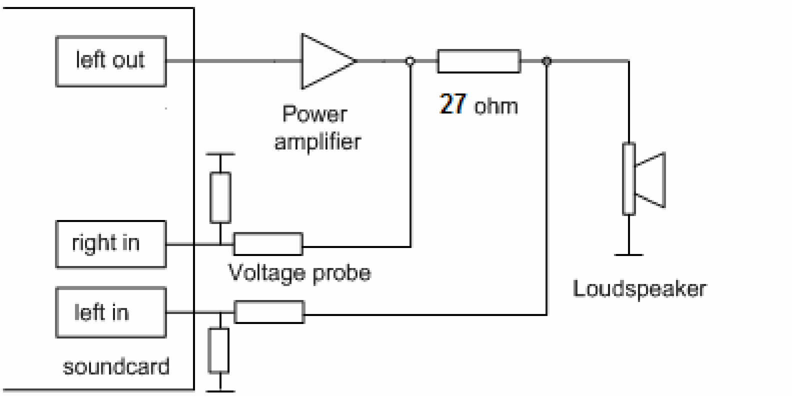


Ilustración 3.2 Configuración de medición general para mediciones de impedancia de altavoces

Para proteger la entrada de la tarjeta de sonido frente a los voltajes elevados que se generan en la salida del amplificador de potencia, se recomienda usar el circuito de sonda de voltaje con diodos Zener, como aparece en la Ilustración 1.3. Los valores de las resistencias R1 y R2 se han de elegir para una atenuación arbitraria (es decir que R1=8200 y R2=910 ohmios nos da una sonda con una atenuación de -20,7 dB (0,0923) si la tarjeta de sonido tiene una impedancia normal de entrada de -10kÙ). En el modo de canal único, esta sonda no se conecta.

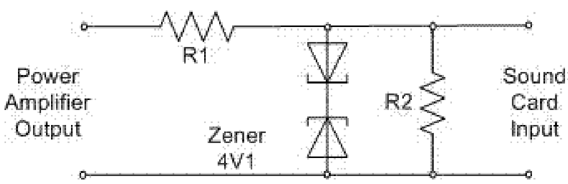


Ilustración 3.3 Sonda de voltaje con protección frente a sobrecarga del canal de entrada de la tarjeta de sonido.

4 Trabajar con *LIMP*

Al arrancar el *LIMP* aparecerá la ventana del programa que aparece en la ilustración 4.1. Tenemos: Barra de menús, barra de herramientas y barra de diálogo en la parte superior de la ventana, y la barra de estado en la parte inferior de la ventana.

La parte central de la ventana mostrará el diagrama de magnitud y fase.

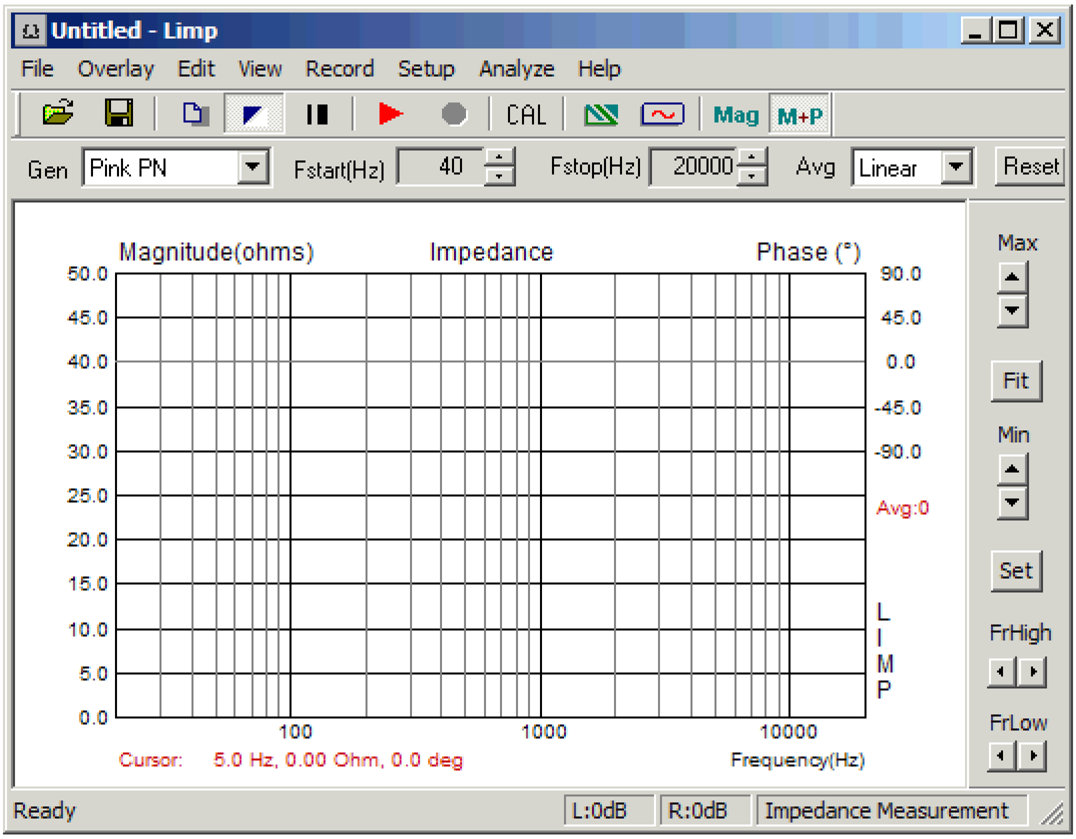


Ilustración 4.1 Ventana principal del programa

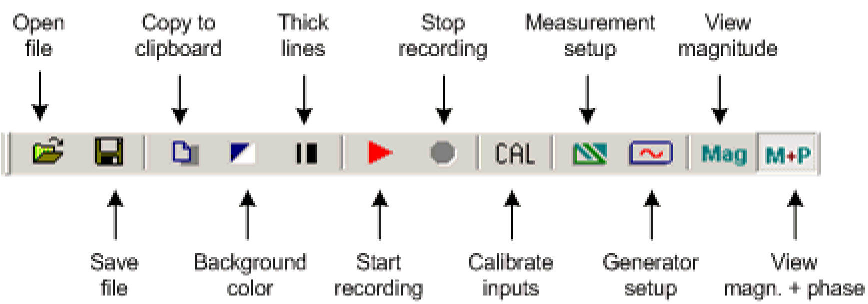
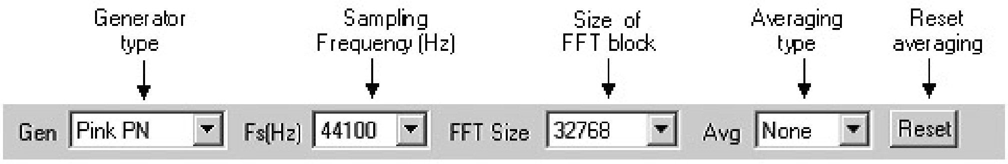


Ilustración 4.2 Iconos de la barra de herramientas



Ilustración 4.3 La barra de estado muestra el nivel pico (ref. escala completa) de las entradas en la línea izquierda y derecha



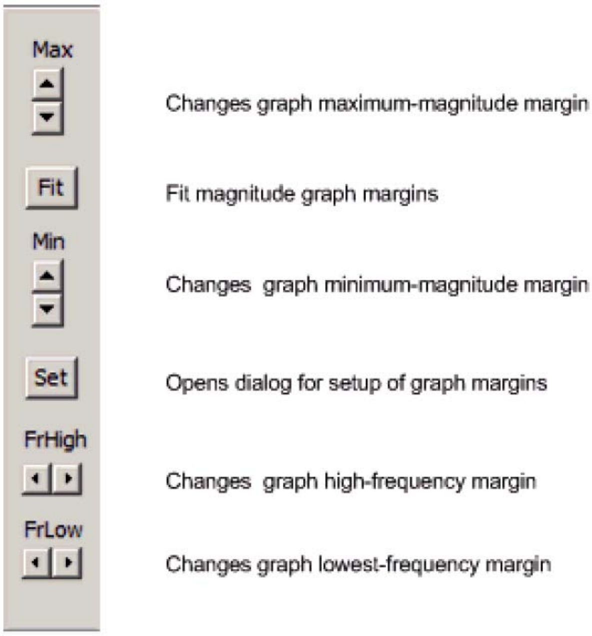


Ilustración 4.4 Barras de diálogo superior y derecha

Normalmente, trabajamos con las ventanas de gráficos y los cuadros de diálogo También necesitamos tener una copia del gráfico o de la imagen de la ventana de gráficos.

Será simple copiar la imagen de la ventana completa. Pulse simultáneamente las teclas **Ctrl+P**. Una vez pulsado el comando se guardará la imagen de la ventana en el Portapapeles, desde el que el usuario podrá copiarlo en otras aplicaciones de Windows (MS Word, MS Paint y Adobe Paint Shop).

Para conseguir la copia de la imagen del gráfico que hay dentro de la ventana, el usuario ha de pulsar al tiempo las teclas **Ctrl+C** o activar el comando de menú **'Edit->Copy' [Editar > Copiar]**, o pulsar el botón correspondiente de **'Copy' [Copiar]**.
En la barra de herramientas de la ventana principal, el botón 'Copy' [Copiar] aparece con el icono .

1) En el **cuadro de edición** el usuario introduce de forma opcional el texto que se añadirá en la parte inferior del gráfico.

2) La casilla de verificación '**Add filename and date' [Añadir nombre de archivo y fecha]** permite añadir texto al gráfico que indica el nombre del archivo, la fecha y hora.

3) Se seleccionará **Tamaño del mapa de bits** seleccionando uno de los siguientes elementos de caja combinada:
    - Current screen size [Tamaño de la pantalla actual] - opción de ancho y altura variable
    - Smallest [Más pequeño] (400 pts) - gráfico de ancho fijo con 400 puntos
    - Small [Pequeño] (512 pts) - gráfico de ancho fijo con 512 puntos
    - Medium [Medio] (600 pts) - gráfico de ancho fijo con 600 puntos
    - Large [Grande] (800 pts) - gráfico de ancho fijo con 800 puntos
    - Largest [Más grande] (1024 pts) - gráfico de ancho fijo con 1024 puntos

Las opciones de ancho fijo proporcionan a la copia del gráfico la relación de aspecto 3:2.

Pulsando el botón 'OK' se copia el gráfico al portapapeles del sistema.
Si se pulsa el botón 'Cancel' [Cancelar] se cancela la operación de copia.

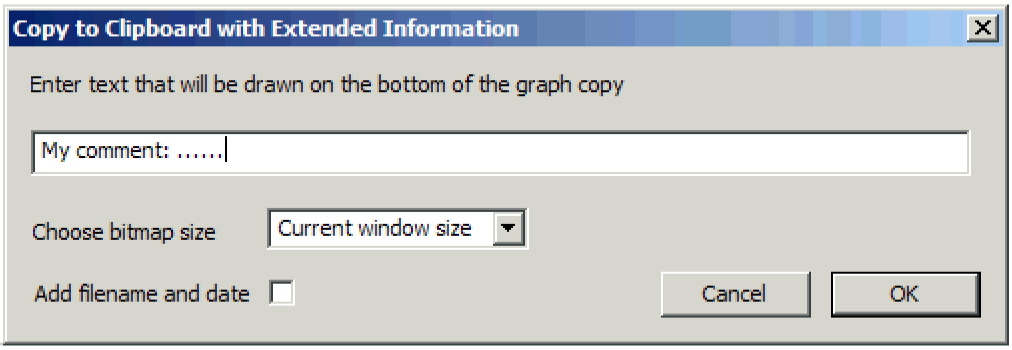


Ilustración 4.5 Cuadro de diálogo **Copia al portapapeles con información ampliada**

4.1 Menús de LIMP

A continuación se explican brevemente los menús de *LIMP*.

File [Archivo]

New [Nuevo] - inicializa el contenido de un nuevo archivo
Open [Abrir] - abre un archivo de impedancia existente (*.LIM)
Save [Guardar] – guarda el archivo con el nombre actual
Save As [Guardar como] – guarda el archivo con un nombre nuevo
Info [Información] – muestra la información sobre el archivo actual
Export ASCII [Exportar a ASCII] – exporta el contenido del archivo a un archivo de texto ASCII.
Commented .TXT file [Archivo TXT con comentarios] – exporta el archivo de texto con comentarios y columnas con la frecuencia, la magnitud de la impedancia y la fase.
Plain .ZMA file [Archivo ZMA simple] – exporta el archivo de texto y columnas con los valores de frecuencia, la magnitud de la impedancia y la fase.
Recent File [Archivos recientes] – abre un archivo que se haya abierto recientemente
Exit [Salir] – Sale del programa

Overlay [Superposición]

Set as overlay [Establecer superposición] – se fija la curva de impedancia actual como superposición
Delete [Borrar] – borra la superposición
Load [Cargar] – carga una superposición de un archivo de impedancia

Edit [Editar]

Copy [Copiar] – copia el gráfico como mapa de bits al portapapeles
Setup colors and grid style [Configurar los colores y estilo de la cuadricula] – configura los colores del gráfico y el estilo de la cuadricula
B/W Color [Color Blanco/Negro] - cambia el color del fondo a blanco o negro
Use thick pen [Usar trazo grueso] -usa un trazo grueso para trazar las curvas

View [Ver]

Toolbar [Barra de herramientas] – muestra u oculta la barra de herramientas
Status Bar [Barra de estado] – muestra u oculta la barra de estado
Fit graph range [Ajustar el margen del gráfico] – cambia el margen superior del gráfico para mostrar la curva de impedancia completa
Magnitude [Magnitud] – muestra sólo la curva de la magnitud de la impedancia
Magnitude +phase [Magnitud + fase] – muestra las curvas de magnitud de la impedancia y fase

Record [Registro]

Start [Inicio] – comienza a registrar (medición)
Stop [Fin] – se detiene el registro (medición)
Calibrate [calibrar] – abre el cuadro de diálogo de calibración de los canales de entrada

Setup [Configuración]

Audio devices [Dispositivos de audio] – configura los dispositivos actuales de entrada y salida
Generator [Generador] – ajusta los parámetros del generador
Measuremente [Medición] – ajusta los parámetros de medición
Graph [Gráfico] – Ajusta los márgenes el gráfico

Analyze [Analizar]

Loudspeaker parameters – Added mass method [Parámetros del altavoz – método de la masa añadida] - muestra el cuadro de diálogo para estimar los parámetros del altavoz empleando el método de la masa añadida
Loudspeaker parameters – Closed box method [Parámetros del altavoz – método de la caja cerrada] - muestra el cuadro de diálogo para estimar los parámetros del altavoz empleando el método de la Caja cerrada
RLC impedance values at cursor position [Valores de impedancia RLC en el cursor] - estima los valores de impedancia de los elementos RLC en serie.

Help [Ayuda]

About [Acerca de]—proporciona información sobre el *LIMP*
Registration [Registro] – muestra la información de registro de la licencia de usuario
User Manual [Manual de usuario] - muestra el archivo de ayuda

Las siguientes son teclas útiles de acceso directo:

Teclas **arriba** y **abajo** - cambian el margen del gráfico superior
Teclas **izquierda** y **derecha** - mueven el cursor hacia la izquierda y la derecha
Tecla **Ctrl + S** – guardan el archivo
Tecla **Ctrl + N** – crean un nuevo archivo
Tecla **Ctrl + O** – abren el archivo
Tecla **Ctrl + C -** copia un gráfico de mapa de bits al portapapeles (con las opciones definidas por el usuario)
Tecla **Ctrl + P** – copia el toda la ventana como mapa de bits al portapapeles
Tecla **Ctrl + B –** cambia el color del fondo

4.2 Configuración de la tarjeta de sonido

Active el menú **Configuración > Dispositivos de audio**. Obtendrá el cuadro de diálogo '**Soundcard Setup' [Configuración de la tarjeta de sonido]** que aparece en la ilustración 4.6. En este cuadro de diálogo ha de escoger la tarjeta de sonido que se usará como dispositivo de entrada o salida. Generalmente, escogerá la misma tarjeta como dispositivo de entrada y salida.

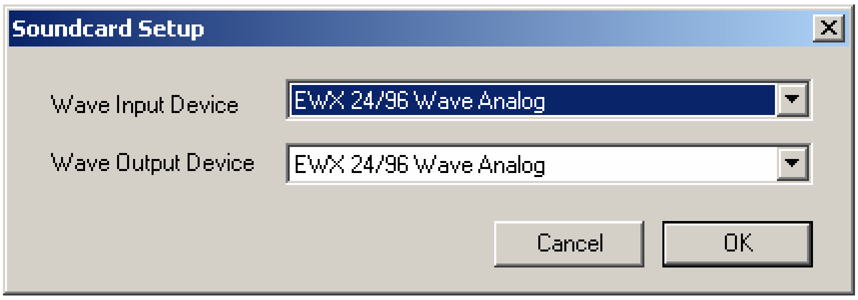


Ilustración 4.6 Configuración de la tarjeta de sonido

Nota importante: Enmudezca los canales de señal y micrófono de la mezcladora de salida de la tarjeta de sonido (Ilustración 4.7). De no hacerlo así puede obtener una retroalimentación positiva durante las mediciones. Si usa una tarjeta de sonido profesional, desactive el control directo (también denominado control de latencia cero).

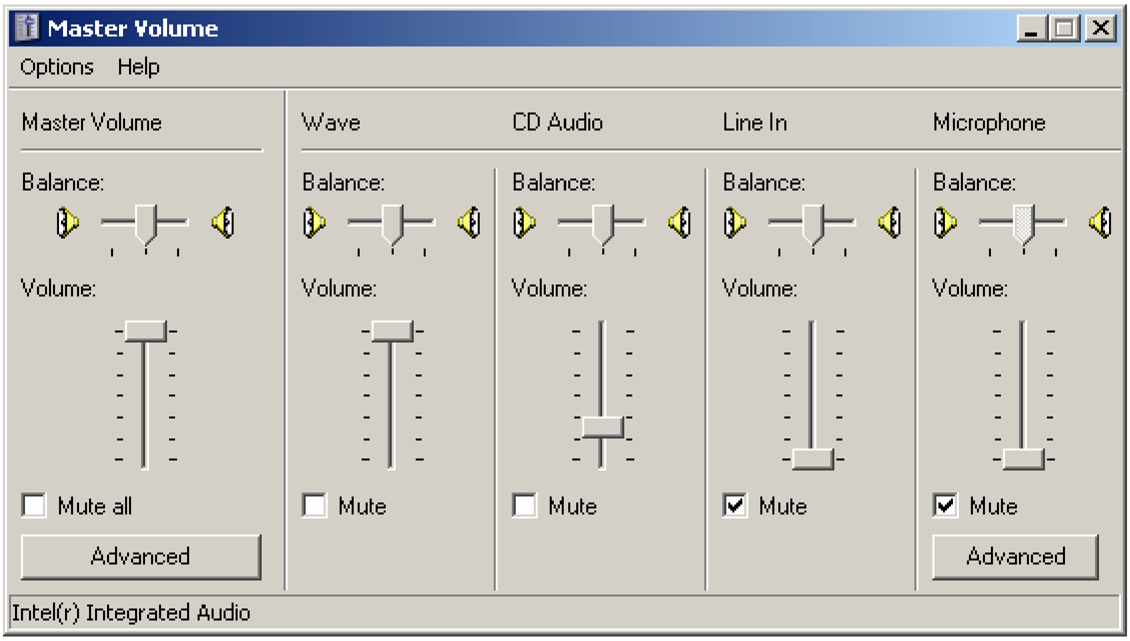
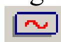


Ilustración 4.7 Configuración típica de la salida de la mezcladora de la tarjeta de sonido (reproducción) (la encontrará en el programa del panel de control '**Sound and Audio Devices' [Dispositivos de sonido y audio])**

4.3 Configuración del generador

Hay dos tipos de señales de excitación posibles en el *LIMP*

- Sinusoide
- Ruido periódico rosa (Pink PN).

Escoja el tipo de señal en la barra de diálogo superior o en el cuadro de diálogo **'Generator Setup' [Configuración del generador]** que aparece en la Ilustración 4.8. Llegará a este cuadro de diálogo haciendo clic sobre **Configuración** > **Generador** o sobre el icono de la barra de herramientas .

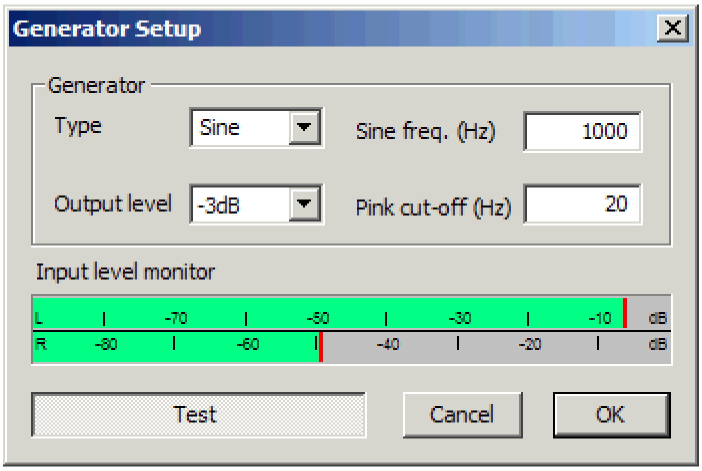


Ilustración 4.8 Configuración del generador de señales

El diálogo **Configuración del generador** tiene los siguientes controles:

Type [Tipo] – selecciona la señal de excitación: **Sine [Sinusoide]** o **Pink PN [Ruido rosa]**
Sine freq. (Hz) [Frecuencia sinusoidal (Hz)] - introduce la frecuencia de prueba del generador de ondas sinusoidales
Pink cut-off (Hz) [Corte rosa (Hz)] – introduce la frecuencia baja de corte del generador de ruido rosa
Output level (dB) [Nivel de salida (dB)] – elige el nivel de salida (0-15dB)
Test [Prueba] – comienza/detiene el generador con las configuraciones actuales
Input level monitor [Monitor de nivel de entrada] – el medidor del pico de volumen de entrada. Las barras del medidor tienen los siguientes colores:
Verde (para niveles inferiores a -3dB),
Amarillo (para niveles entre -3dB y 0dB) y
Rojo (para sobrecarga de la entrada).

Recomendación:

- Para obtener los resultados más fiables use el generador de ondas sinusoidales, pero no haga que el altavoz tenga un desplazamiento grande (el mayor desplazamiento se produce a frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia del altavoz).
- Para las mediciones de los altavoces de graves y de medios graves ajuste la frecuencia de corte rosa cerca de la frecuencia de resonancia del altavoz (20-100 Hz).
- Pulse el botón **Test [Prueba]** para controlar los niveles de entrada/salida. Si las barras del medidor pico son de color rojo, los canales de entrada están sobrecargados. Baje el volumen de salida hasta que las barras pasen a ser de color amarillo o verde.

4.4 Configuración de la medición

Para configurar los parámetros de medición use el cuadro de diálogo **'Measurement setup' [Configuración de la medición]**, que aparece en la ilustración 4.9. Llegará a este cuadro de diálogo haciendo clic sobre **Configuración** > **Medición** o sobre el icono de la barra de herramientas .

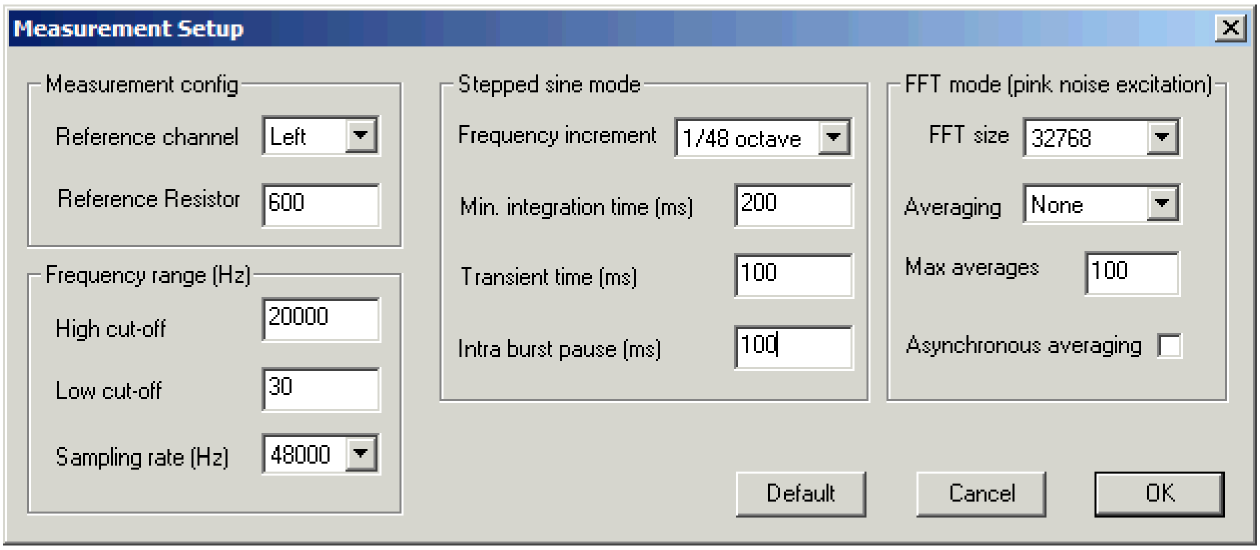


Ilustración 4.9 Configuración de la medición

El diálogo **Configuración de la medición** tiene los siguientes controles:

En la sección **Measurement config [Config. Medición]:**
Reference channel [Canal de referencia] – establece el canal de referencia (U_1) a: Izquierda o derecha
Reference resistor [Resistencia de referencia] – introduce el valor de la resistencia de referencia

En la sección **Frequency range [Gama de frecuencias]:**
High cut-off [Corte alto] – introduce el margen de la frecuencia superior de medición
Low cut-off [Corte bajo] – introduce el margen de la frecuencia inferior de medición
Sampling rate (Hz) [Frecuencia de muestreo (Hz)] – elige la frecuencia de muestreo (de 8000 a 96000 Hz)

En la sección **Stepped sine mode [Modo sinusoide escalonada]:**
Frequency increment [Incremento de frecuencia] – establecido a 1/24 o 1/48 de octava
Min. integration time (ms) [Tiempo de integración mínimo (ms)] - introduce el tiempo de integración mínimo (los valores más elevados proporcionan una mayor reducción del ruido)
Transient time (ms) [Tiempo transitorio (ms)] – introduce el tiempo transitorio para permitir al sistema alcanzar el estado estacionario (antes de comenzar la integración)
Intra burst pause (ms) [Pausa entre ráfagas (ms)] – introduce el tiempo que precisa el sistema para liberar la energía de los componentes reactivos.

En la sección **FFT mode (pink noise excitation) [Modo FFT (excitación de ruido rosa)]:**
FFT size [Tamaño FFT] – elige la longitud del bloque FFT (32768 o 65536)
Type [Tipo] – Elegir: Ninguno, media lineal o media exponencial
Max. Averages [Compensación máxima] – introduce el número máximo de compensaciones para el modo 'lineal'
Asynchronous averaging [Compensación asincrónica] – verifique esta casilla para usar la compensación medias asincrónica

---

4.5 Procedimiento de medición

Una vez que haya completado la configuración del dispositivo de audio, la configuración del generador y la configuración de la medición, ya está listo para realizar las mediciones.

a) Procedimiento en la modalidad FFT
Conectar los altavoces en la forma de prueba (Ilustración 3.1 o 3.2) y hacer clic sobre **Registro** > **Inicio** o haga clic sobre el icono de la barra de herramientas . Las mediciones se repetirán de forma periódica y los resultados se mostrarán como un gráfico de impedancia. Obtendrá un gráfico como el que aparece en la ilustración 4.10. Podrá detener las mediciones haciendo clic sobre **Registro** > **Fin** o sobre el icono de la barra de herramientas .

Podrá copiar el gráfico en formato de mapa de bits haciendo clic sobre **Editar** > **Copiar** o sobre el icono de la barra de herramientas .

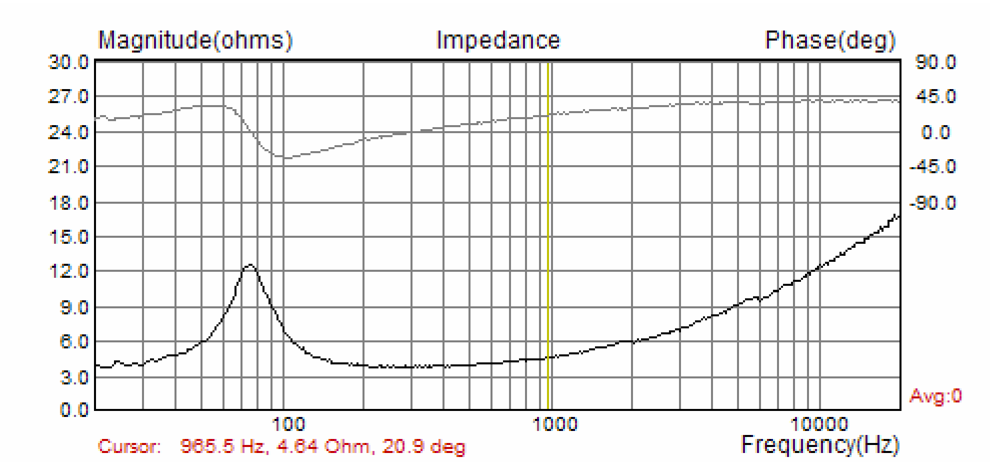


Ilustración 4.10 Medición de la impedancia sin aplicar compensaciones – una medición ruidosa

Si escoge una aplicación de compensación **Lineal**, las mediciones se repetirán y se compensarán hasta que el número de compensaciones alcance el valor predefinido en **Compensaciones máximas** en el cuadro de diálogo de la **Configuración de la medición**. Podrá detener la compensación en cualquier momento haciendo clic sobre **Registro** > **Fin** o sobre el icono de la barra de herramientas **¡Error! Nombre de archivo no especificado.**. Obtendrá un gráfico como el que aparece en la ilustración 4.11.

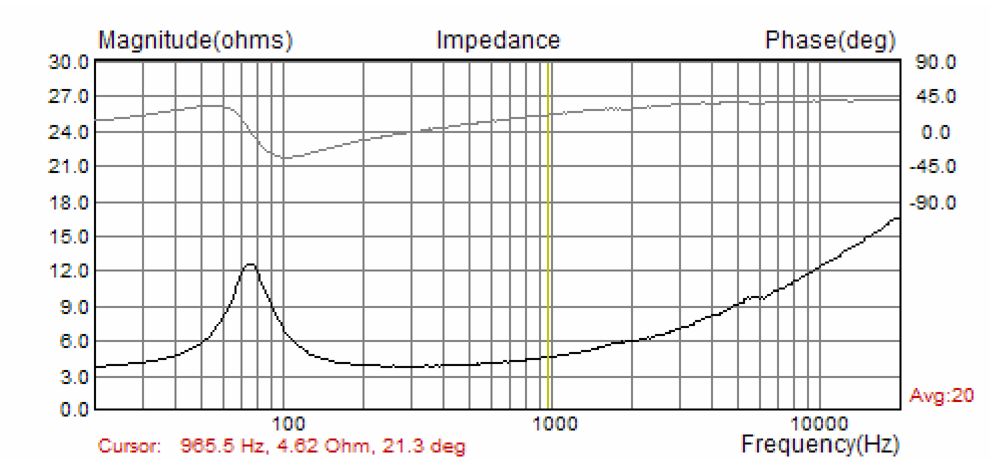


Ilustración 4.11 Mediciones de la impedancia con compensación

También podrá seleccionar la aplicación de medias exponenciales. Difiere de las medias lineales en una forma que concede más importancia a los resultados de las cinco últimas mediciones.

a) Procedimiento en el modo sinusoide escalonada

Los procedimientos de medición en el modo sinusoide escalonada son casi igual que en el modo FFT. La única diferencia es que en el modo FFT el usuario verá el gráfico de impedancia de toda la gama de frecuencias medidas casi instantáneamente, mientras que con el procedimiento del modo sinusoide escalonada se repetirá para muchas frecuencias. El cursor mostrará el progreso real en las mediciones, y ese proceso será muy lento.

4.6 Configuración y exploración de gráficos

El comando de menú **Configuración > Configuración de gráficos** (o haciendo *clic con el botón derecho del ratón en la zona del gráfico*) abre el cuadro de diálogo '**Configuración del gráfico**' que se muestra en la ilustración 4.12. Use este cuadro de diálogo para ajustar la gama de la magnitud de impedancia que se muestra así como la gama de frecuencias visible.

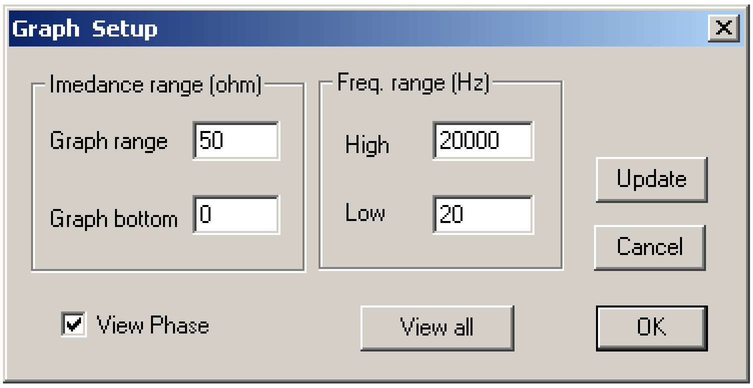


Ilustración 4.12 Configuración de gráficos

El cuadro de diálogo **Configuración de gráficos** tiene los siguientes controles:

Sección **Impedance range (ohm) [Gama de impedancias (ohmios)]:**

Graph range [Gama del gráfico] – introduce la gama de magnitud de impedancia

Graph bottom [Fondo del gráfico] – introduce el margen inferior del gráfico para la magnitud de impedancia

Sección **Freq. range (Hz) [Gama de frecuencias (Hz)]:**

High [Alta] - introduce la frecuencia más elevada que se muestra (en Hz)

Low [Baja] - introduce la frecuencia más baja que se muestra (en Hz)

View All [Ver todos] – permite ver todos los componentes del espectro DFT que se usan en la estimación de la impedancia.
View Phase [Ver fase] – permite dibujar un gráfico de fase.
Update [Actualizar] – pulse este botón para actualizar el gráfico con una nueva configuración.

Los colores del gráfico se pueden cambiar de dos formas. La primera es cambiar al color del fondo de "Negro" a "Blanco" haciendo clic sobre el comando del menú **Ver > Color B/N** o sobre el icono de la barra de herramientas .

La segunda forma de cambiar los colores del gráfico es con el "modo de usuario". El usuario indica un colocar arbitrario para cada elemento del gráfico usando el cuadro de diálogo **'Color setup' [Configuración del color]**, que aparece en la ilustración 4.13. Este cuadro de diálogo se puede activar haciendo clic sobre el menú **Editar > Colores**.

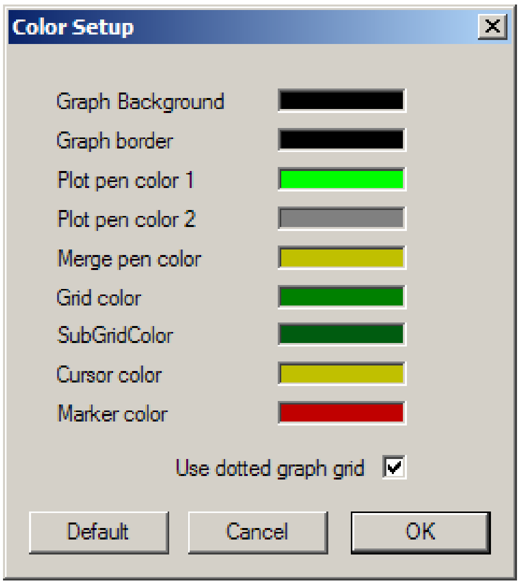


Ilustración 4.13 Cuadros de diálogo para la configuración de los colores del gráfico

Haciendo clic con el botón izquierdo del ratón sobre un rectángulo de color se abre el cuadro de diálogo estándar de Windows **'Color'** (Ilustración 4.14). El botón **'Default' [Defecto]** restaura los colores por defecto.

La casilla de verificación '**Use dotted graph grid' [Usar una cuadrícula de puntos]** permite crear una cuadrícula con líneas de puntos.



Ilustración 4.14 Diálogo estándar de Windows para la configuración del color

Podremos explorar el gráfico moviendo el cursor. En la parte inferior del gráfico, la etiqueta **'Cursor':** Indica los valores de la magnitud y la fase en la posición del cursor.

4.9 Mediciones calibradas

En las mediciones descritas con anterioridad hemos asumido que ambos canales de entrada de la tarjeta de sonido tienen la misma sensibilidad, pero normalmente esto no es cierto. Si la diferencia de sensibilidad de los canales de entrada es mayor de 0,2 dB, hemos de hacer una calibración.

El *LIMP* dispone de un procedimiento de calibración incorporado. Se ha de hacer para una longitud de secuencia de generador y una frecuencia de muestreo concreta.

En el procedimiento de calibración, ambos canales de entrada han de estar conectados a la salida del generador.

Haciendo clic sobre el menú **Registro > Calibrar** o sobre el icono de la barra de herramientas CAL, obtendremos el cuadro de diálogo **'Calibrate Input Channels' [Calibrar canales de entrada]** que se muestra en la ilustración 4.15.

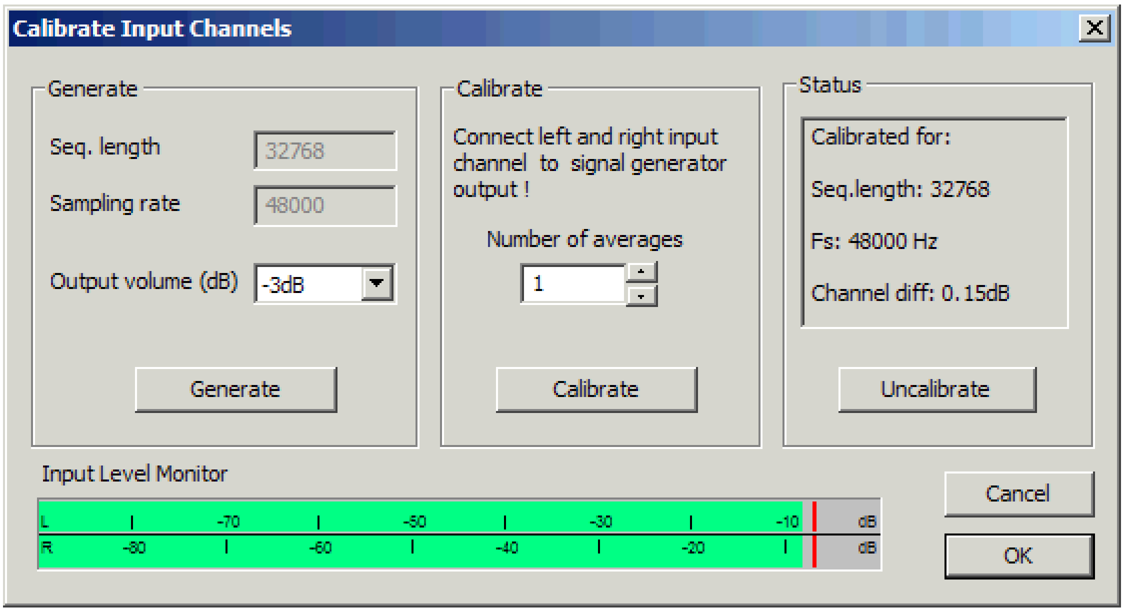


Ilustración 4.15 Diálogo para calibrar la sensibilidad de los canales de entrada

En la sección **Generate [Generar]** establecemos el volumen de salida de la señal de Ruido Rosa o la frecuencia de muestreo y longitud de la secuencia conocida. Pulsando el botón **'Generate' [Generar]** se activa la generación de señal y el control de los niveles de entrada en el Medidor de nivel de entrada. Si fuera necesario, podremos ajustar el volumen de salida usando la caja combinada '**Output volume [Volumen de salida].**

Finalmente, en la sección **Calibrate [Calibrar]** se introduce el **Number of averages [Número de compensaciones]** (el valor recomendado es 1, puesto que medimos señales con un nivel elevado) y pulsamos el botón **'Calibrate' [Calibrar].** Después de un segundo, tenemos el sistema calibrado.

Atención: Si cambiamos la longitud de la secuencia o la frecuencia de muestreo, tendremos que repetir el procedimiento de calibración.

La última sección muestra un informe del procedimiento de calibración. Lo más importante es la información sobre **Channel difference [Diferencia entre canales]** en dB. Si la diferencia entre canales es mayor de 2 dB, LIMP avisa con un diálogo igual al que aparece en la ilustración 4.16, y se rechaza la calibración.

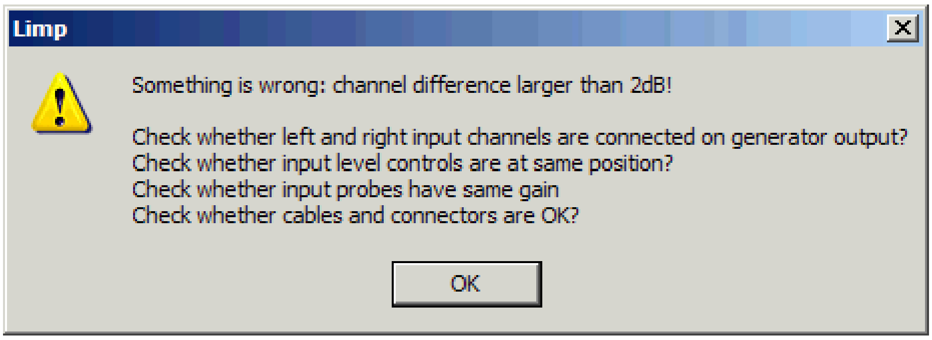


Ilustración 4.16 Informe que aparece cuando la diferencia de canales es mayor a 2dB.

4.8 Manejo de archivos

Los datos de impedancia se pueden guardar en formato binario propio de *LIMP* (archivos .LIM) y en formato ASCII (archivos .TXT o .ZMA).

Además de los datos de impedancia, los archivos .LIM pueden contener texto definido por el usuario de longitud arbitraria. El usuario podrá introducir cualquier tipo de texto en el cuadro de edición del cuadro de diálogo **File info [Información del archivo]** (véase la Ilustración 4.17). Este cuadro de diálogo se puede abrir haciendo clic sobre el comando de menú **Archivo** > **Información**.

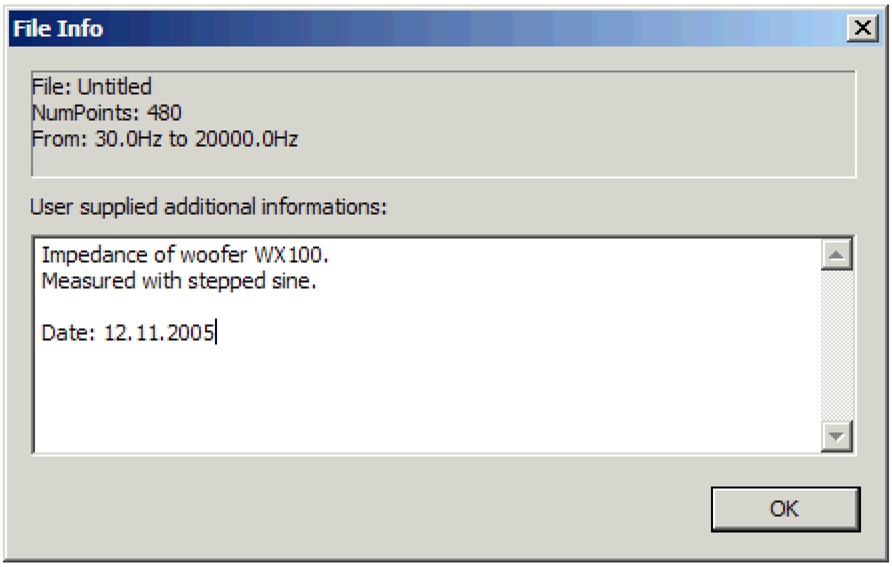


Ilustración 4.17 Cuadro de diálogo para la información del archivo

Los archivos de texto tienen la extensión .txt o .zma. Contienen líneas de texto con tres textos numéricos: Frecuencia (en Hz), magnitud (en ohmios) y fase (en grados). La línea finaliza con un carácter de línea nueva.

La única diferencia entre los archivos .txt y .zma es que los archivos .txt pueden contener líneas de comentarios. Las líneas de comentarios comienzan, después de un número arbitrario de espacios o tabs, con caracteres no numéricos mientras que las líneas de datos comienzan con un dígito o un punto.

El archivo se podrá guardar como datos de impedancia normales o como datos para el gráfico de superposición. Sólo se permite una superposición.

El formato de archivo binario .LIM es como sigue:

```
char id[4]       // cuatro caracteres de identificación {'L', 'I', 'M', '\0' };
unsigned version;       // número de versión – comienza a partir de 0x0101
unsigned reserved;       // 0
int numdata;              // número de puntos de datos
int cursorpos;                 // última posición del cursor
int fftlen;              // longitud de FFT en la modalidad FFT
float  fs;              // frecuencia de muestreo
float data[3*numdata]    // contiene la frecuencia, magnitud y fase
int infolength;          // longitud de la cadena de información
char string[infolength]; // datos de la longitud de información
```

5 Parámetros de los altavoces

Este capítulo proporciona algunas definiciones y procedimientos de medición para estimar los parámetros de los altavoces.

5.1 Definición de los parámetros físicos y dinámicos de los altavoces

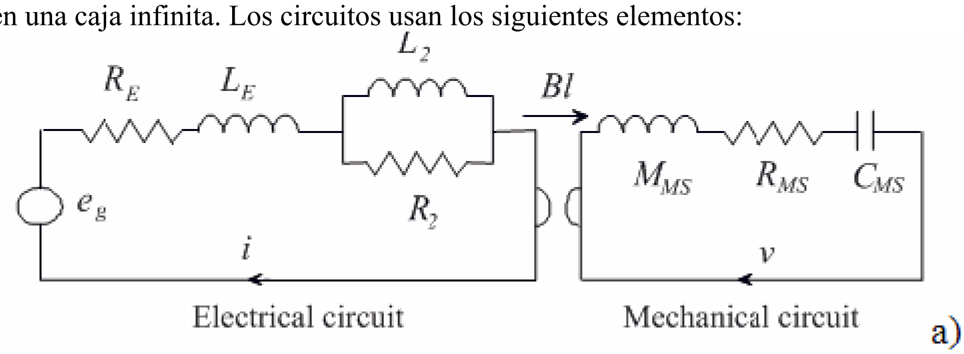
Un altavoz electrodinámico montado en una caja infinita se caracteriza por los siguientes parámetros físicos:

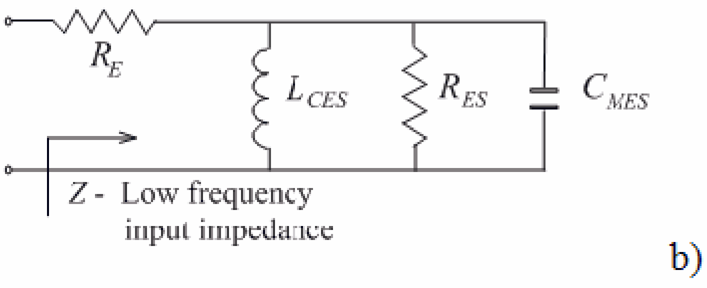
Parámetros electromagnéticos:
R_E – Resistencia DC de la bobina de voz (Ω)
L_E – auto-inductancia de la bobina de voz (H)
L_2 - inductancia debida al acoplamiento inductivo de las corrientes de Eddy (H)
R_2 – resistencia debida a las corrientes de Eddy (Ω)
Bl - factor de fuerza(Tm)

Parámetros mecánicos:
S – área efectiva de la membrana (m^2)
C_{MS} –elasticidad de la suspensión (m/N)
M_{MS} –masa mecánica de la membrana mas masa de aire que carga la membrana (Kg.)
R_{MS} – resistencia mecánica mas resistencia a la radiación de la membrana (Kg./s)

(El área del pistón se obtiene normalmente con la medición del diámetro del cono incluyendo el 1/3 del borde).

La ilustración 5.1 muestra los circuitos equivalentes de baja frecuencia de un altavoz electrodinámico montado en una caja infinita. Los circuitos usan los siguientes elementos:





$$L_{CES} = (Bl)^2 C_{MS}, \quad R_{ES} = (Bl)^2 / R_{MS}, \quad C_{MES} = M_{MS} / (Bl)^2$$

Figura 5.1 a) Circuito eléctrico de un altavoz electrodinámico de banda ancha montado en un baffle infinito, y b) circuito para el cálculo de la impedancia de entrada de baja frecuencia.

Usando estos elementos, Thiele y Small [6, 7] introdujeron los parámetros *dinámicos* de los altavoces que se definen en la Tabla 5.1.

Frecuencia de resonancia en aire libre (Hz)	$f_s = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}}}$, $\omega_s = \dfrac{1}{\sqrt{M_{MS}C_{MS}}}$
Factor Q Mecánico	$Q_{MS} = \dfrac{\omega_S M_{MS}}{R_{MS}} = \dfrac{1}{\omega_S C_{MS} R_{MS}}$
Factor Q Eléctrico	$Q_{ES} = \dfrac{\omega_S M_{MS} R_E}{(Bl)^2}$
Factor Q Total	$Q_{TS} = \omega_S C_{MES} \dfrac{R_E R_{ES}}{R_E + R_{ES}} = \dfrac{Q_{MS} Q_{ES}}{Q_{MS} + Q_{ES}}$
Eficiencia de Potencia Disponible (%).	$\eta_0 = \dfrac{\rho_0}{2\pi c} \dfrac{S^2 (Bl)^2}{R_E M_{MS}{}^2}$
Sensibilidad (1W/1m) en dB	$L_p(1W/1m) = 10\log\left(\dfrac{\rho_0 c}{2\pi}\eta_0\right) - 20\log(p_{ref}) = 112{,}1 + 10\log(\eta_0)$
Volumen acústico equivalente (m^3)	$V_{AS} = \rho_0 c^2 S^2 C_{MS}$

Tabla 5.1 b) Parámetros dinámicos de los altavoces de Thiele - Small
(ρ_0 = 1.18kg/m^3, c = 345m/s, p_{ref} = 20µPa)

Thiele y Small han demostrado que usando estos parámetros es sencillo expresar la respuesta de una caja cerrada como un filtro de paso alto de 2º orden y la respuesta de una caja bassreflex como un filtro de paso alto de 4º orden.

Hoy en día, casi todos los fabricantes de altavoces incluyen los parámetros físicos y los parámetros de Thiele-Small en las hojas de datos de sus altavoces.

Nota sobre inductancia eléctrica:

En la industria estándar se mide la inductancia de la bobina de voz a 1 Khz. En LIMP, un componente inductivo (también uno capacitativo) puede ser medido a cualquier frecuencia, como muestra el capítulo 4.6.
Lo cierto es que nosotros no podemos especificar el exacto valor de la inductancia de la bobina de voz L_E, porque esto es un elemento que depende de la frecuencia. La inductancia de la bobina de voz mejor puede ser descrita como una bobina primaria del "transformador" cuyo secundario se arroya sobre la pieza polar
Las corrientes de Eddy en la pieza polar llevan a aumentar la resistencia del circuito primario.
El modelo simple [8] para una impedancia de entrada primaria es $K\sqrt{\omega} + jK\sqrt{\omega}$, donde K es una constante. La impedancia se incrementa con $\sqrt{\omega}$ antes que con ω.
Este modelo no es práctico como los ingenieros en muchas simulaciones numéricas usan alguna forma de un circuito análogo eléctrico que estrechamente empareja datos de medida. El circuito más comúnmente usado para impedancia eléctrica de bobina de voz es una conexión serie de resistencia R_E, inductor L_E y conexión paralela de resistor R_2 e inductor L_2, como muestra la Fig. 5.1. Ha sido probado como el modelo útil en muchas simulaciones. LIMP estima el valor de *L*E, R y L2 ajustando la respuesta del circuito modelo a los datos medidos, por el método de error del mínimo cuadrado.

(Quiere decir que el valor de L2 y R2 es cambiado hasta que la suma de cuadrados de las diferencias de la respuesta de modelo y respuesta mesurada se hace mínima)

La resistencia de la bobina móvil se debería medir con un ohmiómetro CC.

5.2 Estimación de los parámetros Thiele-Small

Será fácil estimar los parámetros Thiele-Small una vez que hayamos medido los datos de la impedancia del altavoz.

En las frecuencias bajas la influencia de una inductancia de bobina móvil es pequeña y una expresión de la impedancia de entrada del altavoz tendrá la siguiente forma:

$$Z \cong R_E + \frac{(Bl)^2}{R_{MS}} \frac{\frac{s\omega_S}{Q_{MS}}}{\omega_S^2 + \frac{s\omega_S}{Q_{MS}} + s^2} = R_E \frac{1 + sT_S / Q_T + s^2 T_s^{\,2}}{1 + sT_S / Q_{MS} + s^2 T_s^{\,2}}$$

Donde $s = j\omega$, $T_s = 1/\omega_s$.

La impedancia encuentra su máximo valor en la frecuencia de resonancia:

$$Z_{\max} = Z(\omega = \omega_S) = R_E Q_{ES} / Q_T = R_E + R_{ES}$$

Ya que $Q_{ES} > Q_T$.

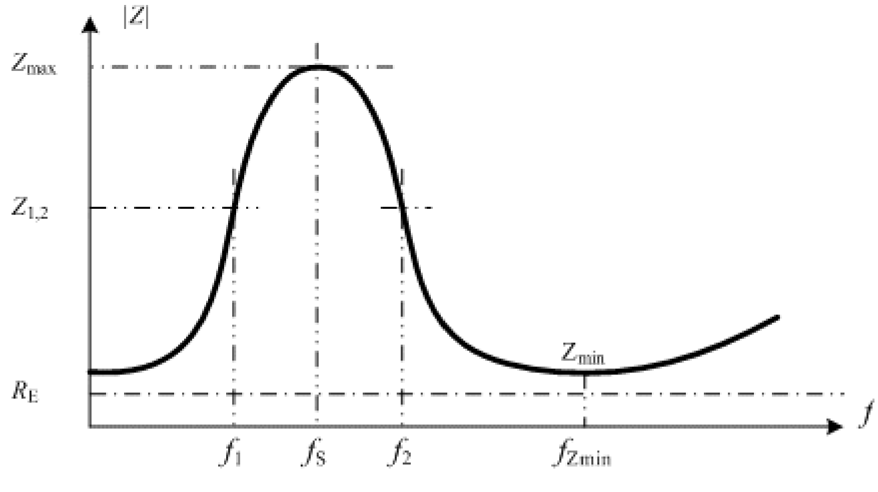


Ilustración 5.2 Curva típica de impedancia de un altavoz montado en aire libre

En las frecuencias f_1 y f_2, (donde $f_1 < f_S < f_2$, $f_1 f_2 = f_S{}^2$) los valores de impedancia son de igual magnitud;

$$\left|Z(j\omega_1)\right| = \left|Z(j\omega_2)\right| = r_1 R_E, \quad \text{if} \quad \omega_1\omega_2 = \omega_S^{\,2}$$

Si sustituimos esta expresión en la ecuación de impedancia, obtenemos

$$\left|Z(j\omega_{1,2})\right|^2 = r_1^{\,2} R_E^{\,2} = R_E^{\,2} \frac{r_0^{\,2} + (Q_{MS}(\omega_1 - \omega_2)/\omega_S)^2}{1 + (Q_{MS}(\omega_1 - \omega_2)/\omega_S)^2}.$$

A partir de esta ecuación obtenemos el factor Q mecánico:

$$Q_{MS} = \frac{f_s}{f_2 - f_1}\sqrt{\frac{r_0{}^2 - r_1{}^2}{r_1{}^2 - 1}}$$

Ahora podremos definir un procedimiento paso a paso para medir los factores *Q*:

1. Medir una resistencia de bobina móvil R_E con un ohmiómetro CC.

2. A partir de la curva de la impedancia, hallar f_S y Z_{max}. Definir $r_0=Z_{max}/R_E$.

3. Elegir alguna magnitud de impedancia $R_E<|Z_1|<Z_{max}$ y hallar las dos frecuencias (f_1 y f_2) en las que $Z = Z_1$. Definir $r_1=Z_1/R_E$.

4. Calcular Q_{MS} (con la ecuación anterior),

5. Calcular Q_{ES} con la ecuación $Q_{ES}=Q_{MS} / (r_0-1)$.

6. Calcular Q_T con la ecuación $Q_T=Q_{ES}Q_{ES} / (Q_{ES}+Q_{ES})$.

5.3 Estimación de los parámetros físicos del altavoz

Se usan dos métodos [7] para estimar los parámetros físicos de un altavoz (M_{MS}, C_{MS} y R_{MS});

1. Método de la masa añadida
2. Método de la caja cerrada.

Ambos métodos se pueden aplicar con el *LIMP*.

5.3.1 Método de la masa añadida

En este método, primero medimos la curva de la impedancia y estimamos los parámetros de Thiele-Small f_S, Q_{MS} y Q_{ES}, para el altavoz montado en el aire libre. A continuación colocamos una masa añadida (M_{added}) a la membrana, medimos la curva de la impedancia y estimamos la frecuencia de resonancia nueva f_M y el factor Q eléctrico Q_{EM}. A partir de las ecuaciones para Q_{EM} y Q_{ES} obtenemos:

$$M_{MS} = \frac{M_{added}}{\dfrac{f_S Q_{EM}}{f_M Q_{ES}} - 1}$$

Una vez que conocemos M_{MS} y f_S, es sencillo obtener la elasticidad mecánica C_{MS}, la resistencia R_{MS} y el factor de fuerza *Bl*. Usando las ecuaciones definidas en la Tabla 5.1 obtenemos

$$C_{MS} = \frac{1}{M_{MS}\omega_S{}^2}, \quad V_{AS} = \rho_0 c^2 S^2 C_{MS}, \quad Bl = \sqrt{\frac{\omega_S M_{MS} R_E}{Q_{ES}}}, \quad R_{MS} = \frac{\omega_S M_{MS}}{Q_{MS}}$$

5.3.2 Método de la caja cerrada

En este método, primero medimos la curva de la impedancia y estimamos los parámetros de Thiele-Small f_S, Q_{MS} y Q_{ES}, para el altavoz montado en el aire libre. A continuación montamos el altavoz en una caja cerrada, con un volumen V_B conocido, medimos la curva de impedancia y estimamos los parámetros de Thiele-Small f_C, Q_{MC}, Q_{EC}. A partir de estos hallaremos

$$V_{AS} = V_B\left(\frac{f_C Q_{EC}}{f_S Q_{ES}} - 1\right)$$

Entonces, usando las ecuaciones definidas en la Tabla 5.1 obtenemos

$$C_{MS} = \frac{V_{AS}}{\rho_0 c^2 S^2}, \quad M_{MS} = \frac{1}{C_{MS}\omega_S^2}, \quad Bl = \sqrt{\frac{\omega_S M_{MS} R_E}{Q_{ES}}}, \quad R_{MS} = \frac{\omega_S M_{MS}}{Q_{MS}}$$

5.4 Estimación automática de los parámetros físicos y dinámicos de los altavoces

Los procedimientos *LIMP* para la estimación de los parámetros del altavoz son los siguientes.

Para estimar los factores Q de un altavoz necesitamos:

1. datos de la impedancia medida,
2. resistencia CC de la bobina móvil medida (en ohmios)
3. diámetro estimado de la membrana en cm. (medición del diámetro del cono que incluye el 1/3 del borde).

Haciendo clic sobre el menú **Analyze** > **Parámetros del altavoz – Método de la suma de masas**, obtendremos el cuadro de diálogo **'Loudspeaker Parameters – Added Mass Method' [Parámetros del altavoz – Método de la masa añadida]** que se muestra en la ilustración 5.2.

En este cuadro de diálogo, se introducen los valores de **Voice coil resistance [Resistencia de la bobina móvil]** y **Membrane diameter [Diámetro de la membrana].** Pulsar sobre el botón **'Calculate' [Calcular]** para obtener el informe que aparece en la caja de edición a la izquierda. Este informe se puede copiar al portapapeles pulsando el botón **'Copy' [Copiar].**

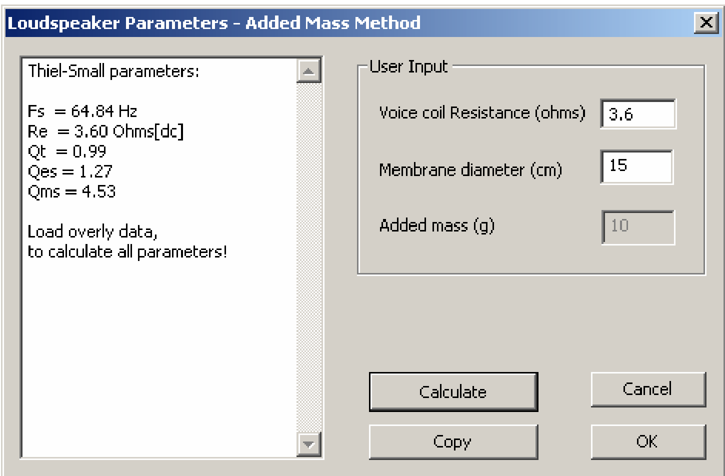


Ilustración 5.2 Cuadro de diálogo para estimar los factores Q del altavoz

5.4.1 Método de la masa añadida

Para estimar todos los parámetros físicos y dinámicos del altavoz hemos de hacer dos mediciones de impedancia del altavoz en el aire libre. En una de esas dos mediciones, la membrana se ha de cargar con una masa adicional. Esto es lo que necesitamos:

1. datos de la impedancia medida,
2. datos de la impedancia medida con una masa adicional en la membrana (como en la Ilustración 5.3),
3. una de las curvas (1 o 2) se ha de configurar como gráfico de superposición,
4. masa adicional medida – en gramos.
5. resistencia CC de la bobina móvil medida - en ohmios,
6. diámetro de la membrana - en cm. (diámetro del cono que incluye el 1/3 del borde).

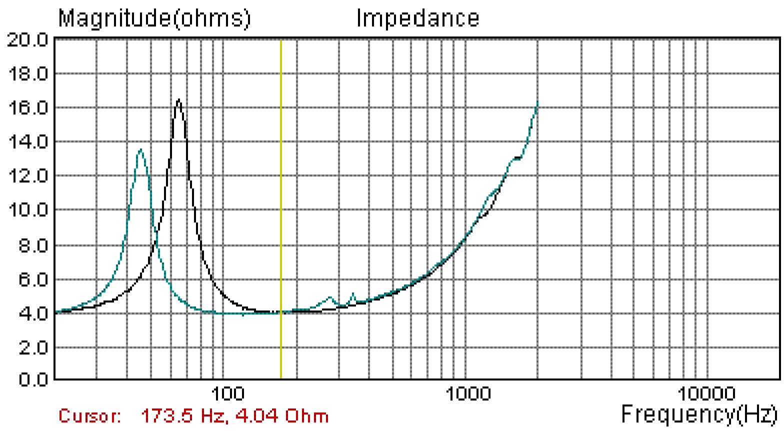


Ilustración 5.3 Curvas de impedancia (la de la frecuencia de resonancia menor se obtiene añadiendo masa a la membrana)

A continuación activamos el menú **Analyze > Parámetros del altavoz – Método de la masa añadida**, para obtener el cuadro de diálogo **'Loudspeaker Parameters' [Parámetros del altavoz]** que se muestra en la ilustración 5.4.

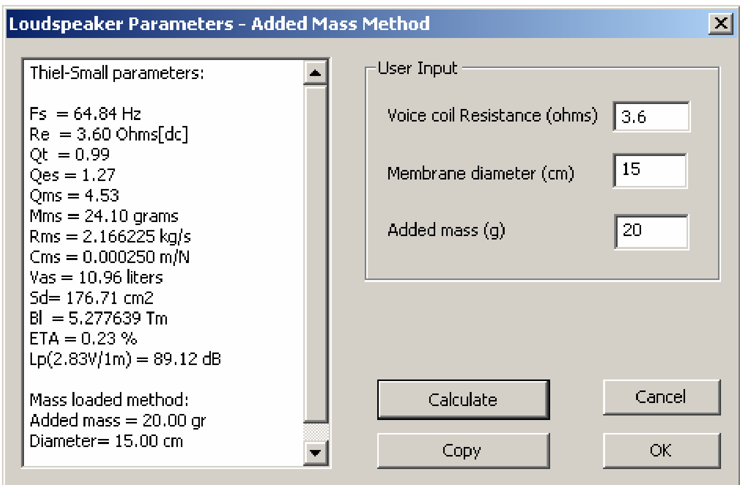


Ilustración 5.4 Cuadro de diálogo para estimar los parámetros del altavoz

Finalmente, introducimos los valores de **Voice coil resistance [Resistencia de la bobina móvil], Membrane diameter [Diámetro de la membrana]** y **Added mass [Masa añadida]**. Pulsar sobre el botón '**Calculate**' **[Calcular]** para obtener el informe que aparece en la caja de edición de la izquierda. Este informe se puede copiar al portapapeles pulsando el botón '**Copy**' **[Copiar].**

5.4.2 Método de la caja cerrada

Para estimar todos los parámetros del altavoz hemos de tener dos mediciones de impedancia. En una de las mediciones el altavoz ha de estar montado en una caja cerrada de volumen conocido. Esto es lo que necesitamos:

1. datos de la impedancia medida,
2. datos de la impedancia medida con el altavoz montado en una caja cerrada,
3. una de las curvas (1 o 2) se ha de configurar como gráfico de superposición (como en la Ilustración 5.5),
4. valor estimado del volumen de la caja - en litros.
5. resistencia CC de la bobina móvil medida - en ohmios,
6. diámetro de la membrana - en cm (diámetro del cono que incluye el 1/3 del borde).

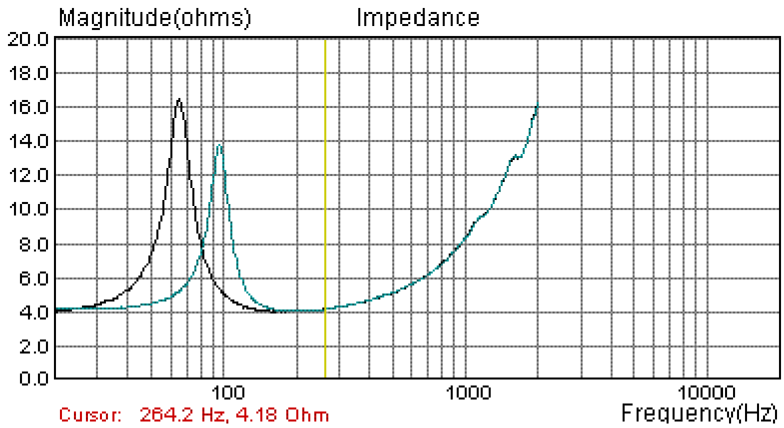


Ilustración 5.5 Curva de impedancia (la de la frecuencia de resonancia más alta se obtiene montando el altavoz en una caja cerrada)

A continuación activamos el menú **Analyze > Parámetros del altavoz – Método de la caja cerrada**, para obtener el cuadro de diálogo **'Loudspeaker Parameters – Closed Box Method' [Parámetros del altavoz – Método de la caja cerrada]** que se muestra en la ilustración 5.6.

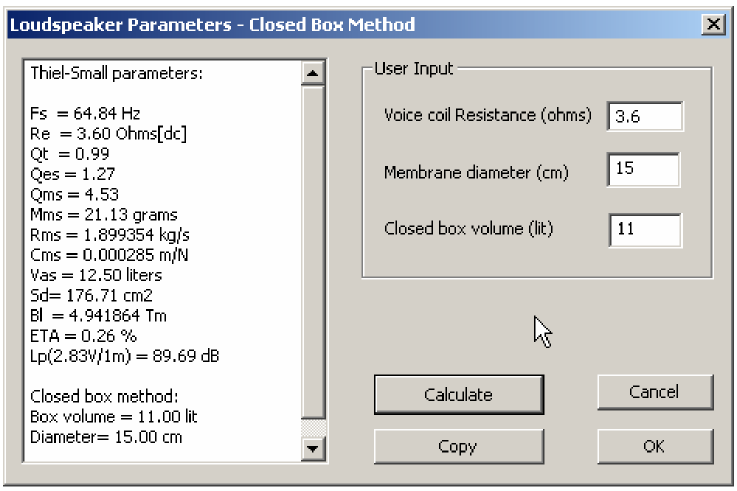


Ilustración 5.6 Cuadro de diálogo para estimar los parámetros del altavoz método de la caja cerrada

Finalmente, introducimos los valores de **Voice coil resistance [Resistencia de la bobina móvil], Membrane diameter [Diámetro de la membrana]** y **Closed Box volume [Volumen de la caja cerrada]**. Pulsar sobre el botón '**Calculate**' **[Calcular]** para obtener el informe que aparece en la caja de edición de la izquierda. Este informe se puede copiar al portapapeles pulsando el botón '**Copy**' **[Copiar].**

6 Medición de RLC

El *Limp* se puede emplear para medir los valores de resistencias, condensadores e inductores, simplemente mediante el cálculo de las partes resistivas, inductivas o capacitativas de la impedancia medida. Por ejemplo, la Ilustración 6.1 muestra las curvas de impedancia de un inductor con un valor nominal de 1,5 mH.

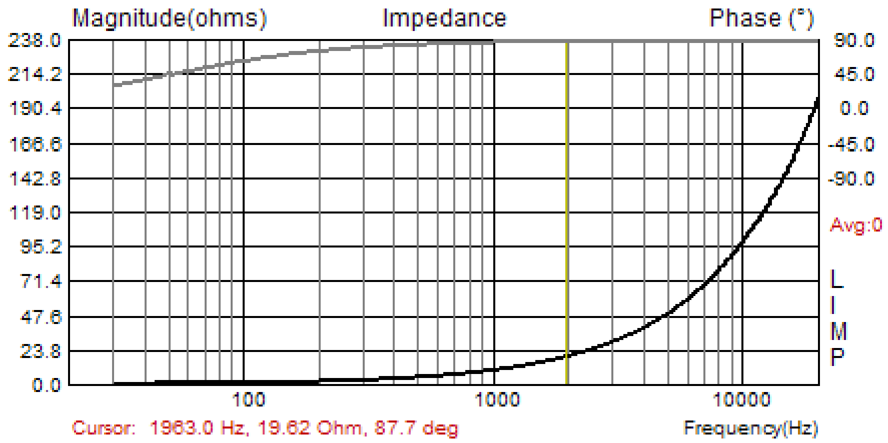


Ilustración 6.1 Gráfico de impedancia de un inductor de 1,5mH

Haciendo clic sobre el comando de menú ***Analysis*** > ***RLC Impedance value at cursor position [Análisis*** > ***Valor de impedancia RLC en el cursor]*** obtendremos el cuadro de diálogo con informe que aparece en la ilustración 6.2. El programa informa de que la impedancia medida tiene una parte resistiva de 0,776 ohmios y la parte imaginaria tiene un valor inductivo de 1,589mH.

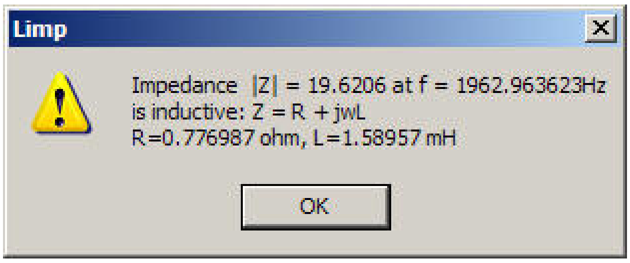


Ilustración 6.2 Impedancia de un inductor con núcleo de aire

De la misma forma, *LIMP* mide la capacitancia.

6.1 Importancia de la calibración

Al medir la impedancia y la capacitancia es muy importante hacer la calibración del sistema antes de la medición, y será mejor hacer la calibración con la impedancia conectada (Dispositivo a probar).

¿Por qué?

Incluso aunque haya una diferencia muy pequeña entre las sensibilidades de los canales (por ejemplo de 0,1 dB) el *LIMP* puede dar un resultado muy erróneo, puesto que la impedancia del inductor tiene una fase cercana a los 90 grados, y la impedancia de la capacitancia tiene una fase cercana a menos 90 grados. En ese caso, si hay una diferencia en la sensibilidad del voltaje medido del generador, V1, y del voltaje de la impedancia, V2, (si la sensibilidad de la sonda V2 es mayor que la sensibilidad de V1), la impedancia estimada nos da unos valores de fase por encima de los 90 grados y en el gráfico nos encontramos con un salto en la fase de 180 grados. La Ilustración 6.3 muestra el caso de la medición de un condensador sin calibración. A la mitad de la gama, la fase se encuentra cerca de los 90 grados. Es un resultado muy erróneo puesto que sugiere que tenemos que tratar con una inductancia. La Ilustración 6.4 muestra la impedancia del condensador después de la calibración Vemos los valores correctos para la fase en toda la gama de frecuencias.

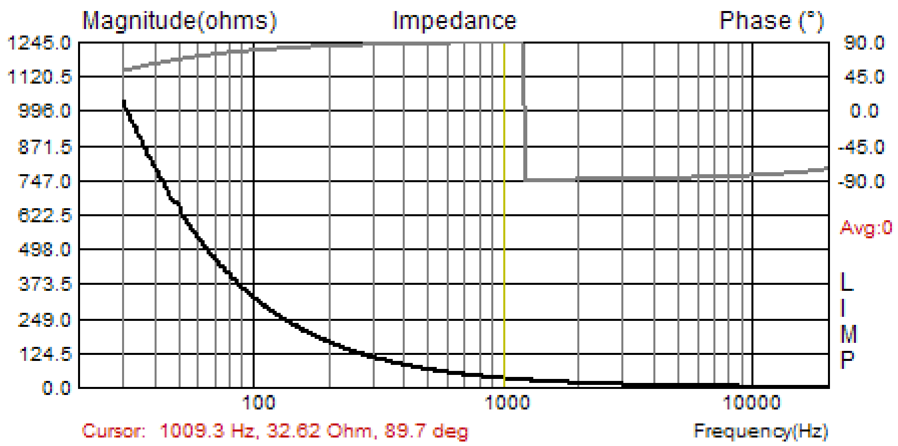


Ilustración 6.3 Impedancia estimada erróneamente para un condensador plástico de 4,7uF/250V (medido sin calibración)

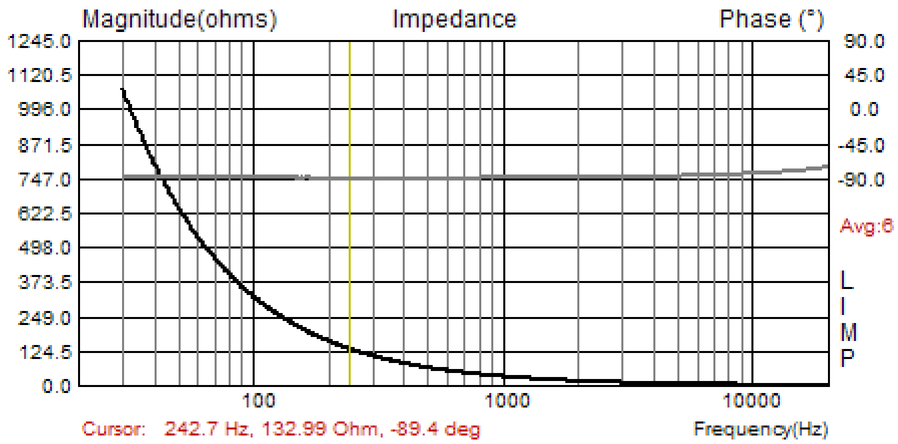


Ilustración 6.4 Impedancia estimada correctamente para un condensador plástico de 4,7uF/250V (medido después de la calibración)

No todos los usuarios de LIMP tendrán este problema. Tal como se ha explicado antes, el problema aparece cuando la sonda para el voltaje de la impedancia V2 tiene una sensibilidad mayor que la sensibilidad de la sonda para el voltaje del generador V1. Para evitar este problema podremos cambiar la sensibilidad de las sondas o podremos simplemente intercambiar los canales de entrada y también cambiar el canal de referencia en la configuración de medición *LIMP*.

Nota:
Para obtener una buena estimación de la capacitancia o inductancia se recomienda poner el cursor sobre la frecuencia cuando la magnitud de la impedancia sea inferior a 100 ohmios. Se garantiza una medición de la impedancia con un 1% de tolerancia. ¿Por qué? La respuesta se encuentra en el hecho de que la impedancia medida se anula con la impedancia de la sonda o de la entrada de la tarjeta de sonido que normalmente tiene un valor de 10k ohmios.

Bibliografía

[1] Mateljan, I., "Signal Selection for the Room Acoustics Measurement", *Proc. 1999 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, New Paltz, Nueva York, 1999.

[2] Mateljan, I., Ugrinović K. ""The Comparison of Room Impulse Response Measuring Systems", *Proc. AAA 2003*, Portoroz, Eslovenia, 2003.

[3] Rife, D.D., Vanderkooy, J., "Transfer Function Measurement with Maximum-Length Sequences", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 37, Junio 1989.

[4] Bendat, J. S., and Piersol, A. G., "Engineering applications of Correlation and Spectral Analysis", Wiley, Nueva York, 1980.

[5] L.L. Beranek, *Acoustics*, 1986 Edition, Published for the Acoustical Society of America by the American Institute of Physics.

[6] R.H. Small, "Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis" *JAES*, Vol. 20, No. 5, pp 383-395, 1972 Junio.

[7] A.N. Thiele, "The Thiele-Small Parameters for Measuring, Specifying and Designing Loudspeakers", PALA International Conference, Singapur, 2004.

[8] J. Vanderkooy, "A Model of Loudspeaker Driver Impedance Incorporating Eddy Currents in the Pole Structure" *JAES*, Vol. 37, No. 3, pp 119-128, 1989 Marzo

[9] W. M. Leach, "Loudspeakers Voice Coil Inductance Losses: Circuit Models, Parameter Estimation and Effect on Frequency Response", *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)*, vol. 50, Junio 2002).